

吊橋主ケーブルの形崩れを解析する

リフティング・ビーム走行による吊橋主ケーブル形崩れに関する実験と解析

Experiment and Analysis on the Cross Sectional Deformation of the Main Cable of a Suspension Bridge Caused by Running of a Lifting Beam

中崎 俊三

Shunzo NAKAZAKI

川田工業㈱技術開発本部長大橋室
室長

片山 哲夫

Tetsuo KATAYAMA

川田工業㈱技術開発本部長大橋室
課長

大野 克紀

Katsunori OHNO

川田工業㈱技術開発本部
長大橋室

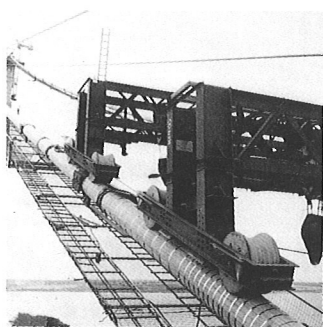
田巻 嘉彦

Yoshihiko TAMAKI

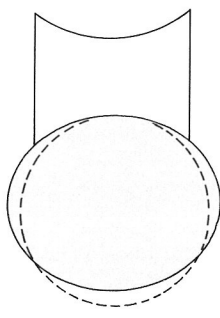
川田工業㈱技術開発本部
長大橋室

吊橋主ケーブルの形崩れとは？

吊橋の補剛桁の架設工法として、吊橋の直下まで補剛桁ブロックを台船輸送し、それを主ケーブル上のリフティング・ビーム（以下L/B）で吊り上げる直下吊り工法があります。L/Bは1ブロックの架設を終えると、次のブロックの架設に備えて主ケーブル上を移設されるのですが、このとき走行車輪として通常、鼓状のローラーが使用されます。この際、円形であった主ケーブルが楕円状に変形します。これを吊橋主ケーブルの形崩れと言います。



走行中のL/B(ハンバー橋)



主ケーブルの形崩れ

形崩れが起ると何が問題なのか？

補剛桁の架設が終わると、この後、ケーブル防食のためのラッピング作業が行われます。ラッピング作業を円滑に行うために、ケーブルを掛け矢で円形に整形するのですが、ケーブル断面が大きく、しかも形崩れが大きいとこの作業は困難になってしまいます。

最近、現場作業の省力化のために、L/Bが機械化されることが多いのですが、このためL/Bの自重が重くなり、主ケーブルの形崩れも大きくなる傾向にあります。

形崩れは予測できるか？

形崩れの大きさが予測できれば、L/Bの重さを設定で

きるようになります。しかし、素線の集合体から成る主ケーブルの形崩れ解析は、現在まで困難とされてきました。というのは、従来の構造解析は、連続体あるいは骨組を対象としてきたからです。

ところで、最近、個別要素法といって、粒状の物体を取り扱う解析が開発されてきており、落石、砂防構造物における中詰材、積雪などの挙動が解析されています。この方法によれば、主ケーブルの形崩れを解析できそうなのですが、今までに例のない解析であるために、モデル化にあたって、ケーブルバンド、素線、ケーブル張力をいかに評価するかが問題でした。ケーブルと車輪の関係から次のような解析仮定を設けました。

- ① 車輪直下のケーブルからある長さ分の素線集合体を取り出し、それを個別要素とします。そして、ケーブルバンドと個別要素との間の素線群は、個別要素に対するバネと見なしました。
- ② 各素線に対するバネは鉛直、水平、ねじりの3つあります。鉛直と水平のバネはケーブル張力による幾何剛性により、ねじりのバネは素線断面のねじり定数により求めました。計算式を以下に示します。

$$K_x = K_y = 4 T / L \cdot n$$

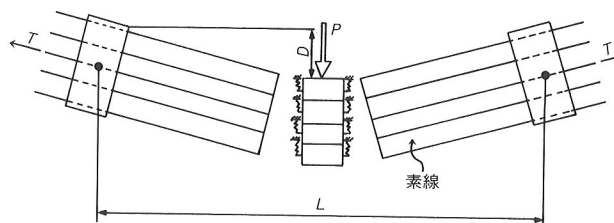
T ：ケーブル張力

L ：ケーブルバンド間隔

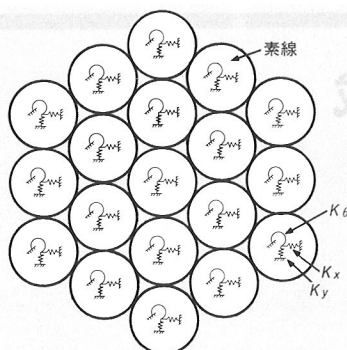
n ：素線数

$$K_\theta = 4 G \cdot J / L$$

$G \cdot J$ ：素線のねじり定数



主ケーブルから素線群を切り出し、それらをバネ支持する。

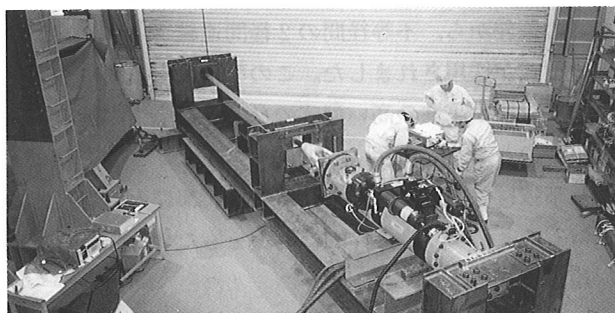
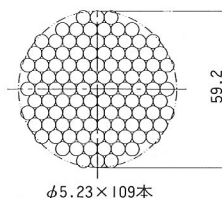


個別要素法のモデル化

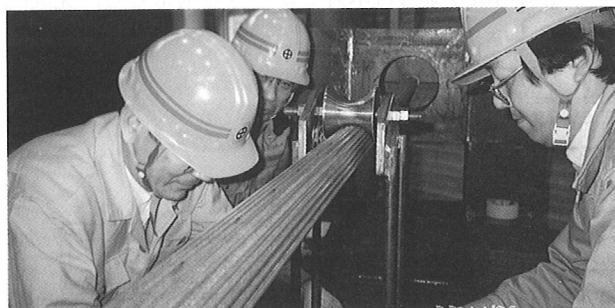
確認実験を行った

理論計算にあたって計算仮定を設けましたが、それが実状に合うかどうかは実験によって確認するしかありません。実験は四国工場の構造物試験室で行いました。

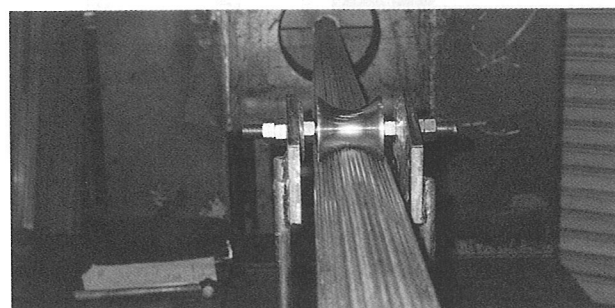
- ・ 供試体：長さ（4 m）、外径（59.2 mm）、構成（ $\phi 5.23 \times 109$ 本）、垂鉛メッキワイヤ
- ・ 実験の種類：静的定位置試験、走行試験
- ・ ケーブルの張力：10 tf、20 tf
- ・ 車輪形状：2 種類
- ・ 荷重：200 kgf、500 kgf



実験装置（手前が定張力ジャッキ、向こう側がケーブル供試体）



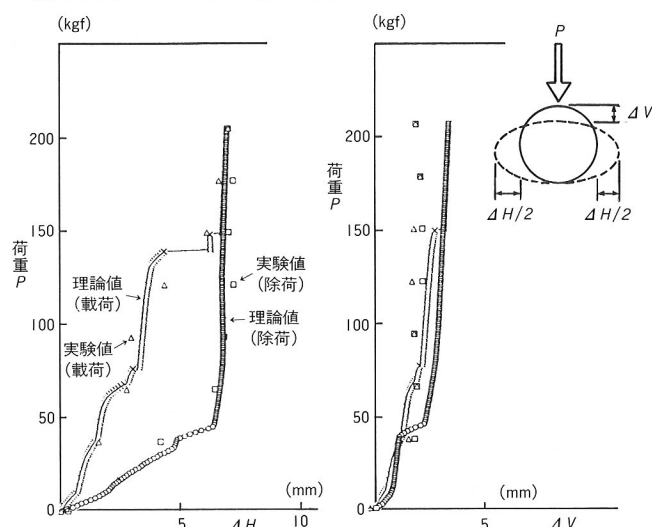
静的定位置試験（載荷中）



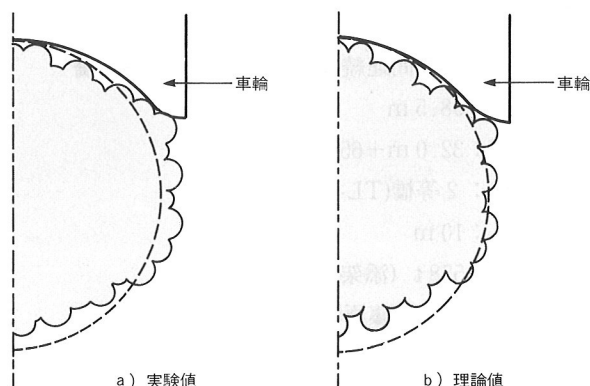
静的定位置試験（載荷完了、ケーブルが横方向に膨らんでいる）

実験値と理論値の比較結果は？

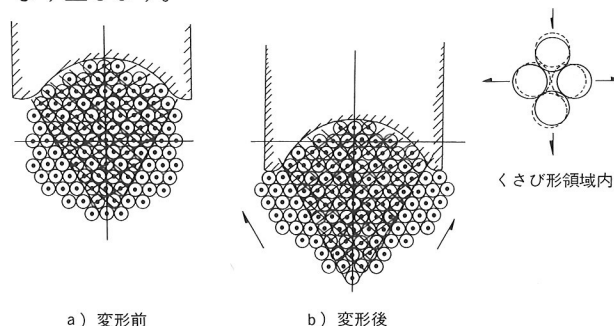
下図は、水平方向の膨らみ量 ΔH と鉛直方向の縮み量 ΔV を図化したものです。載荷と除荷とで荷重・変位曲線が異なっており非線形挙動を示しています。



下図は、ケーブル断面の変形状態を表しています。理論値は実験値の変形性状をよく表していると思われます。車輪外縁下方、すなわち、ケーブル側面で膨らみ、ケーブル底面では凹んでいることがわかります。



水平方向の膨らみの原因としては、第一に、下図に示した、斜線のくさび形領域の外側素線が上方に上がるためであり、第二に、くさび形領域内の素線が水平方向に互いに離れるためです。鉛直方向の縮みは第二の理由により生じます。



a) 変形前

b) 変形後

今回の解析は静的解析に限定しましたが、今後は走行試験に対応した動的解析が課題です。